

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平9-141851

(43) 公開日 平成9年(1997)6月3日

(51) Int.Cl.⁹

B 4 1 J 2/045
2/055

識別記号

庁内整理番号

F I

B 4 1 J 3/04

1 0 3 A

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数14 O L (全 15 頁)

(21) 出願番号 特願平7-301724

(22) 出願日 平成7年(1995)11月20日

(71) 出願人 000002369

セイコーエプソン株式会社
東京都新宿区西新宿2丁目4番1号

(72) 発明者 酒井 真理

長野県諏訪市大和3丁目3番5号 セイコ
ーエプソン株式会社内

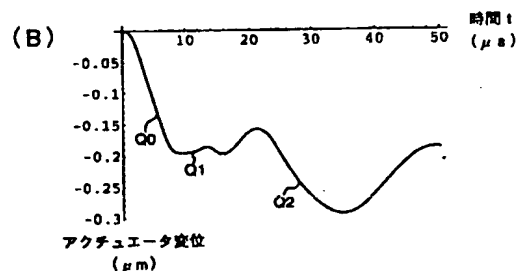
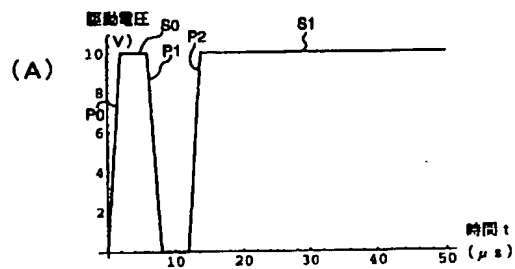
(74) 代理人 弁理士 鈴木 喜三郎 (外1名)

(54) 【発明の名称】 アクチュエータの駆動方法およびインクジェット記録装置

(57) 【要約】

【課題】 リンギングとオーバシュートを抑制しながら、アクチュエータの基本モードの固有周期より高速にアクチュエータを変位させる。

【解決手段】 圧電振動子の第1の振動モードである基本(1次)モードの固有周期である $30\mu s$ より短い時間の間に、電圧の立ち上げと立ち下げからなるパルス状の波形S0を加えた後に、再び電圧を立ち上げている。初めの電圧の立ち上げP0から電圧の立ち下げP1までの時間と、電圧の立ち下げP1から2度目の電圧の立ち上げP2までの時間はおよそ $6\mu s$ で、圧電振動子60の第2の振動モードとなる2次モードの固有周期のおよそ半分の値である。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 駆動手段による駆動力で変位し、この駆動力で励振される第1の振動モードと、この第1の振動モードより高次の第2の振動モードとを有するアクチュエータの駆動方法において、

前記第1の振動モードの周期より短い区間の間に、パルス状となる駆動力の立ち上げと立ち下げを少なくとも一回行い、しかる後に必要な変位に駆動する駆動力を作用させることを特徴とするアクチュエータの駆動方法。

【請求項2】 請求項1において、前記パルス状となる駆動力の立ち上げと立ち下げは、前記第2の振動モードを励振するパルス状の駆動力であることを特徴とするアクチュエータの駆動方法。

【請求項3】 請求項1において、前記パルス状となる駆動力の立ち上げと立ち下げの大きさを、前記必要な変位に駆動する駆動力の大きさより大きくしたことを特徴とするアクチュエータの駆動方法。

【請求項4】 請求項1において、前記必要な変位に駆動する駆動力が、ステップ状駆動力にパルス状駆動力を重ねさせてなることを特徴とするアクチュエータの駆動方法。

【請求項5】 請求項4において、重畳される前記パルス状駆動力が、前記第1の振動モードの振動を打ち消すように抑制することを特徴とするアクチュエータの駆動方法。

【請求項6】 請求項1において、前記アクチュエータは、電歪振動子あるいは磁歪振動子からなることを特徴とするアクチュエータの駆動方法。

【請求項7】 請求項1において、前記アクチュエータは、縦振動子、横振動子、あるいはねじり振動子であることを特徴とするアクチュエータの駆動方法。

【請求項8】 インク室を区画形成している周壁の一部を、アクチュエータで振動させることにより、前記インク室に連通したノズルよりインク滴を吐出するインクジェット記録装置において、

前記アクチュエータは駆動手段による駆動力で変位し、この駆動力で励振される第1の振動モードと、この第1の振動モードより高次の第2の振動モードとを有し、前記第1の振動モードの周期より短い区間の間に、パルス状となる駆動力の立ち上げと立ち下げを少なくとも一回行い、しかる後に必要な変位に駆動する駆動力を作用させることを特徴とするインクジェット記録装置。

【請求項9】 請求項8において、前記パルス状となる駆動力の立ち上げと立ち下げは、前記第2の振動モードを励振するパルス状の駆動力であることを特徴とするインクジェット記録装置。

【請求項10】 請求項8において、前記パルス状となる駆動力の立ち上げと立ち下げの大きさを、前記必要な変位に駆動する駆動力の大きさより大きくしたことを特徴とするインクジェット記録装置。

【請求項11】 請求項8において、前記必要な変位に駆動する駆動力が、ステップ状駆動力にパルス状駆動力を重ねさせてなることを特徴とするインクジェット記録装置。

【請求項12】 請求項11において、重畳される前記パルス状駆動力が、前記第1の振動モードの振動を打ち消すように抑制することを特徴とするインクジェット記録装置。

【請求項13】 請求項8において、前記アクチュエータは縦振動モードで駆動される電歪振動子で、前記駆動手段による駆動力は前記電歪振動子に形成された駆動電極に印加される電圧で与えられることを特徴とするインクジェット記録装置。

【請求項14】 請求項8において、前記インク室はインクの吐出に係わるインク室の振動モードを持ち、前記アクチュエータの前記第1の振動モードの固有周期は前記インク室の振動モードの固有周期より大きく、前記第2の振動モードの固有周期は前記インク室の振動モードの固有周期より小さいことを特徴とするインクジェット記録装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、駆動信号の入力により変位するアクチュエータの駆動方法に関するものである。更に詳しくは、アクチュエータを高速に変位させる駆動方法に関するものである。また、本発明の属するもう一つの技術分野は、インク滴を吐出して記録媒体上に付着させるインクジェット記録装置に関するもので、更に詳しくは、低い電圧で微小なインク滴を高速に吐出させることに適したインクジェット記録装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】制御信号の入力により発生する駆動力あるいは駆動力の変化で変位するアクチュエータとして、例えば電歪（圧電）材料を用いた電歪アクチュエータや、磁歪材料を用いた磁歪アクチュエータがある。これらのアクチュエータは、アクチュエータの形状や固定方法等によって決まる固有振動モードを持っている。

【0003】例えば、図1に示す圧電縦振動子は、圧電セラミクス細棒の一端を固定し、細棒の両面に形成された駆動電極間に電圧を印加すると、圧電横効果により細棒の長手方向に変位する。このような一端を固定した棒の縦振動の固有振動数は、

【0004】

【数1】

$$f = \frac{\lambda}{2\pi L} \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

【0005】で表わされる。ここで、L：棒の長さ、E：棒材料の縦弾性係数、 ρ ：棒材料の密度、 λ ：固有振動モードによって定まる無次元の係数で $\lambda = \pi/2$ 、

$3\pi/2, 5\pi/2, \dots, (2n-1)\pi/2$ (n は自然数) である。また、各固有振動数に対応する固有振動モードは、図18に示すようになる。図18では、一次モード、二次モード、三次モードの変位状態を、棒の長さ方向の変位量を便宜的に棒に垂直方向の変位として表わしている。

【0006】この圧電縦振動子に、外部の駆動回路からの出力電圧を駆動電極間に印加すると、圧電横効果による駆動力が発生し、静的には次式で表現される変位量が発生する。

【0007】

【数2】

$$s = \frac{d_{31} V L}{t}$$

【0008】ここで、 V ：駆動電圧、 t ：電極間の圧電細棒の厚さ、 L ：棒の長さ、 d_{31} ：圧電定数である。

【0009】この圧電縦振動子を変位させる時の上記静的変位に至るまでの過渡的振動状態は、電圧の立ち上げ方に大きく支配される。図19と図20は、圧電縦振動子に一定の電圧上昇率で立ち上がる擬ステップ電圧を印加した時の、圧電縦振動子先端の変位応答を見たものである。図の横軸は圧電縦振動子の一次モードの基本周期 T_{m1} で規格化し、縦軸の変位量は静変位量で規格化してある。

【0010】図19では、擬ステップ電圧の立ち上がり時間 T_1 が三次モードの固有周期 $T_{m3} = T_{m1}/5$ より短く、一次モード、二次モード、三次モードの複数のモードが励振され、その結果、静変位のおよそ2倍の変位まで立ち上がるが、鋸波状のリングングが発生する。

【0011】図20では、擬ステップ電圧の立ち上がり時間 T_1 を一次モードの固有周期 T_{m1} に等しく設定している。一般にある固有モードの固有振動周期より十分長い立ち上がり時間にすると、その固有モードとより高次の振動の励振は低く抑えられる。逆にある固有モードの固有周期より短い立ち上がり時間にすると、その固有モードとより低次の固有モードは強く励振される。また、立ち上がり時間があるモードの固有振動周期に等しくなる時点で、そのモードの励振は極小となり、その振動モードの励振を可及的に抑えられる。図20では、擬ステップ電圧の立ち上がり時間 T_1 を一次モードの固有周期 T_{m1} に等しく設定しているため、一次モードと高次モードの励振が共に抑えられ、振動子先端はおおよそ立ち上がり時間に等しい時間（即ち一次モードの固有周期 T_{m1} に等しい時間）で立ち上がり、オーバシュートやリングングは発生しない。

【0012】次に本発明の従来技術となるインクジェット記録装置を説明する。

【0013】一般にインクジェット記録装置においては、インク室の剛性（コンプライアンス）と供給路、ノズルを含むインク流路系の慣性（イナータンス）によ

て決まるヘルムホルツ波数を持つインク流れの固有振動が有り、この振動モードを強く励振することによりノズルより高速にインク滴を吐出することが可能となる。そのため、インク流れの固有振動の周期より短い時間でアクチュエータが変位するよう、アクチュエータの基本振動モードの周期がインク流れの固有振動の周期より短くなるようにする。このような従来技術が、特公平4-71712号公報に開示されている。

【0014】このようなインクジェット記録装置では、アクチュエータが駆動後にリングング（残留振動）を起こすとインク流れの固有振動を励振し、非常に僅かな振幅であってもノズルよりミスト状のインク滴が発生する。このミストは、それ自体が記録媒体に付着すると記録品質を低下させるが、記録媒体だけでなくインクジェットヘッドのノズル周囲に付着するとノズル開口部の濡れが不均一になり、付着したミストに引かれてインク滴の吐出方向が変わってしまい、記録媒体上の目的の位置に正確に記録できず、記録品質の低下を招く。

【0015】特開平6-8427号公報に開示されているインクジェット記録装置は、区画形成されたインク室の底壁をなす振動板に、振動板を駆動してインク室を加圧するアクチュエータとしての圧電振動子の一方の端部が当接している。この圧電振動子の他方の端部は基板を介して基台に固定されており、積層された駆動電極に駆動電圧を印加することで、軸方向に伸縮する縦振動モードで駆動される。駆動電圧を上昇させると圧電振動子が縮み、振動板をインク室の面外方向に変形させインク室の容積を増大させる。その後、駆動電圧を下降させると圧電振動子が伸長しインク室の容積を急激に縮小させる。この時発生するインク室の流体圧力により、インク室に連通するノズルよりインク滴が吐出する。駆動電圧の下降は、電圧下降率が一定となる回路で行われているが、この下降の時間を圧電振動子の自由振動（縦振動の基本振動）の周期に実質的に等しくすることで、圧電振動子の残留振動を低くし、ノズルからのミスト状の不要インク滴が吐出するのを抑制している。

【0016】更に、特開平6-340075号公報に開示されているインクジェット記録装置は、駆動電圧の下降を2段階に分け、電圧下降の中間に電圧下降の停止時間を入れることで、可及的に圧電振動子の残留振動を抑制している。

【0017】

【発明が解決しようとする課題】 上述の従来技術が示すとおり、アクチュエータを高速に変位させ、かつ変位のリングングを十分に小さくするには、そのアクチュエータの変位に係わる基本振動モード、例えば縦振動子の先端変位を出力に用いるアクチュエータでは縦振動の基本振動モード（一次振動モード）を、その固有周期が必要な変位応答時間に等しいかそれ以下となるよう固有周波数を高くしなければならない。即ち、変位応答の速度

は、アクチュエータの基本振動モードの固有周期で上限が決められてしまう。一般に、機械構造物の固有振動周波数は構造物が小さくなるほど高くなる。例えば、一様な縦振動子やねじり振動子では固有周波数は長さに反比例し、横振動子（たわみ振動子）では固有周波数は長さの2乗に反比例する。これとは逆に、アクチュエータの変位量は駆動力が一定であれば寸法が小さくなるほど小さくなる。例えば、一様な縦振動子やねじり振動子では変位量は長さに比例し、横振動子（たわみ振動子）では変位量は長さの2乗に比例する。従って、変位速度を高くするには、アクチュエータを小型にすると共にその駆動力、即ち電気機械変換素子からなるアクチュエータでは駆動電圧を高くしなければならない。

【0018】しかしながら、駆動電圧が高くなると駆動回路が非常に大型・高価になり、また駆動回路やアクチュエータの発熱による性能低下を招くという問題点が発生する。また、アクチュエータ内部の応力が高くなり、アクチュエータの破壊による信頼性低下が生じるなど、アクチュエータ素子自体の限界歪みで特性の上限が決めてしまう。

【0019】また、インクジェット記録装置では、インク滴の吐出に係わるインク室の振動モードの固有振動数（ヘルムホルツ周波数）を高くすることで微小なインク滴を高速に吐出させることが可能となる。そのためには、このインク室の振動モードを駆動できる高い変位速度を持つアクチュエータが必要となる。しかしながら、駆動電圧の立ち上がりを速くするとリングングが発生し、印字品質を劣化させる不要インクミストが発生する問題点がある。また、アクチュエータの基本モードを高速にするためアクチュエータの小型化を図ると、駆動電圧が非常に高くなってしまいう問題点がある。

【0020】そこで、本発明の課題は、オーバシュートやリングングを抑えながら基本モードの固有周期以下の時間で変位が立ち上がるアクチュエータの駆動方法を提供し、アクチュエータの基本モードで制限されていた変位応答性の限界を飛躍的に改善し、低駆動力・低電圧で高速に駆動できる高性能なアクチュエータを提供することにある。

【0021】また、アクチュエータの変位速度を飛躍的に向上させることで、微小なインク滴を高速に低駆動力・低電圧で吐出できる、高品位なインクジェット記録装置を提供することにある。

【0022】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決するために、本発明は、駆動手段による駆動力で変位し、この駆動力で励振される第1の振動モードと、この第1の振動モードより高次の第2の振動モードとを有するアクチュエータの駆動方法において、前記第1の振動モードの周期より短い区間の間に、パルス状となる駆動力の立ち上げと立ち下げを少なくとも一回行い、しかる後に必要な

変位に駆動する駆動力を作用させるようにしている。

【0023】ここで、前記パルス状となる駆動力の立ち上げと立ち下げは、前記第2の振動モードを励振するパルス状の駆動力であることが望ましい。

【0024】また、前記パルス状となる駆動力の立ち上げと立ち下げの大きさを、前記必要な変位に駆動する駆動力の大きさより大きくすることが望ましい。

【0025】また、前記必要な変位に駆動する駆動力が、ステップ状駆動力にパルス状駆動力を重ねさせてなることが望ましい。ここで、重ねられる前記パルス状駆動力が、前記第1の振動モードの振動を打ち消すように抑制することが望ましい。

【0026】また、前記アクチュエータとしては、電歪振動子あるいは磁歪振動子からなることが望ましい。

【0027】また、前記アクチュエータは、縦振動子、横振動子、あるいはねじり振動子であることが望ましい。

【0028】一方、本発明は、インク室を区画形成している周壁の一部を、アクチュエータで振動させることにより、前記インク室に連通したノズルよりインク滴を吐出するインクジェット記録装置において、前記アクチュエータは駆動手段による駆動力で変位し、この駆動力で励振される第1の振動モードと、この第1の振動モードより高次の第2の振動モードとを有し、前記第1の振動モードの周期より短い区間の間に、パルス状となる駆動力の立ち上げと立ち下げを少なくとも一回行い、しかる後に必要な変位に駆動する駆動力を作用させるようにしている。

【0029】ここで、前記パルス状となる駆動力の立ち上げと立ち下げは、前記第2の振動モードを励振するパルス状の駆動力であることが望ましい。

【0030】また、前記パルス状となる駆動力の立ち上げと立ち下げの大きさを、前記必要な変位に駆動する駆動力の大きさより大きくすることが望ましい。

【0031】また、前記必要な変位に駆動する駆動力が、ステップ状駆動力にパルス状駆動力を重ねさせてなることが望ましい。ここで、重ねられる前記パルス状駆動力が、前記第1の振動モードの振動を打ち消すように抑制することが望ましい。

【0032】また、前記アクチュエータは縦振動モードで駆動される電歪振動子で、前記駆動手段による駆動力は前記電歪振動子に形成された駆動電極に印加される電圧で与えられることが望ましい。

【0033】また、前記インク室はインクの吐出に係わるインク室の振動モードを持ち、前記アクチュエータの前記第1の振動モードの固有周期は前記インク室の振動モードの固有周期より大きく、前記第2の振動モードの固有周期は前記インク室の振動モードの固有周期より小さいことが望ましい。

【0034】

【発明の実施の形態】以下に、図面を参照して本発明のアクチュエータの駆動方法について詳しく説明する。

【0035】図1は以下に説明する駆動波形の実施例を適用したアクチュエータで、チタン酸ジルコン酸鉛（以下PZTと表現する）からなる厚さHの圧電板を幅Wの板棒状に切り出し、一方の端部を基板61からの張り出し長さLで基板に接着固定してある。圧電板60にはその両面に駆動電極62が形成されており、この駆動電極62を用いて圧電材料を厚さ方向に分極させてある。この圧電振動子の寸法は、厚さHが $200\mu\text{m}$ 、幅Wが $500\mu\text{m}$ 、張り出し長さLが 20mm で、圧電材料のおよその材料定数は、比重が7.5、縦弾性係数が $6\times 10^{10}\text{N/m}^2$ 、圧電定数 d_{31} は $200\times 10^{-12}\text{m/V}$ である。駆動電極へ電圧印加を行うと圧電横効果による圧電歪みが駆動力として作用し、棒は長手方向に収縮する。この長手方向の縦振動の固有周波数は、上記数値を用いて公式より算出すると、1次モードが 34kHz 、2次モードが 102kHz 、3次モードが 170kHz となる。また、固有周期で見ると、1次モードが $29\mu\text{s}$ 、2次モードが $10\mu\text{s}$ 、3次モードが $6\mu\text{s}$ となる。インピーダンスアナライザを用いて共振点を実測すると1次モードの固有周期は $30\mu\text{s}$ となり、上記計算結果と一致した。

【0036】図2(A)に示す駆動電圧波形は、図1に示す圧電振動子の1次モード固有周期に等しい $30\mu\text{s}$ で電圧が立ち上がる擬ステップ波形であるが、この駆動波形を図1に示す圧電振動子に印加すると、図2(B)に示すアクチュエータ変位の応答が得られる。従来技術として説明した様に、この駆動方法によればのオーバシユートやリングングが発生せず滑らかに変位が立ち上がるが、変位の立ち上がりには要する時間がおよそ $30\mu\text{s}$ も必要とし、立ち上がりの速度が低くなってしまふ。

【0037】これに対し、図3は本発明の第1の実施例となる駆動方法を示す図で、図3(A)は圧電振動子に印加する駆動電圧波形で、図3(B)はアクチュエータとしての圧電振動子の先端変位応答である。図3(A)の駆動電圧波形は、圧電振動子の第1の振動モードである基本(1次)モードの固有周期である $30\mu\text{s}$ より短い時間の間に、電圧の立ち上げと立ち下げからなるパルス状の波形S0を加えた後に、再び電圧を立ち上げてい

駆動電圧の立ち上がりによる1次モードのリングングQ2が残留している。

【0038】図3の駆動方法により、振動子先端変位は図2の従来技術に比較して3分の1以下のおよそ $8\mu\text{s}$ で立ち上がり、非常に高速な立ち上がりを実現できた。しかし、プラトーQ1まで急峻に立ち上がる変位量は静的な変位量であるおよそ $0.25\mu\text{m}$ より2割程度小さい。

【0039】これに対し、図4は本発明の第2の実施例となる駆動方法を示す図で、図3に示した実施例を改善したものである。図4(A)は圧電振動子に印加する駆動電圧波形で、図4(B)はアクチュエータとしての圧電振動子60の先端変位応答である。図3(A)の駆動電圧波形に対し、図4(A)の駆動電圧波形は、最初の電圧の立ち上げP10と立ち下げP11からなるパルス状の波形S10の高さを、静的な変位量を与える電圧に対しておよそ3割大きくすることで、プラトーQ11まで急峻に立ち上がる変位量を静的な変位量と同程度にすることが可能となった。本駆動方法の様にパルスの高さを変えることにより、プラトーまで急峻に立ち上がる変位量を自由に調整することが可能となる。

【0040】図5は本発明の第3の実施例となる駆動方法を示す図で、図5(A)は圧電振動子に印加する駆動電圧波形で、図5(B)はアクチュエータとしての圧電振動子の先端変位応答である。本実施例は、図4に示した実施例を改善したものである。即ち、静的な変位量を与える電圧よりおよそ3割高く第1の電圧の立ち上げP20を行う。続いて、圧電振動子60の第2の振動モードとなる2次モードの固有周期のおよそ半分の値となるおよそ $6\mu\text{s}$ で電圧の立ち下げP21を行い、第1のパルス状波形S20を形成する。続いて、電圧の立ち下げP21から先と同様およそ $6\mu\text{s}$ で第2の電圧の立ち上げP22を行う。この立ち上げP22の高さを第1の立ち上げと同様に静的な変位量を与える電圧よりおよそ3割高くする。続いて、第2の立ち上げP22から先と同様およそ $6\mu\text{s}$ で静的な変位を与える電圧まで第2の電圧の立ち下げP23を行う。

【0041】図4(A)と図5(A)とを比較して分かるように、本実施例の駆動波形で、静的な変位にまで駆動するステップ状駆動波形S22に第2のパルス状波形S21を重ねさせることで、アクチュエータ変位の立ち上がり後のリングングを抑制することが可能となる。

【0042】図6は本発明の第4の実施例となる駆動方法を示す図で、図6(A)は圧電振動子60に印加する駆動電圧波形で、図6(B)はアクチュエータとしての圧電振動子60の先端変位応答である。本実施例は、図5に示した実施例を改善し、補助的に重ねさせた第2のパルスを基本(1次)モードのリングングを打ち消すように最適化し、残留振動を抑制したものである。即ち、第2の電圧の立ち上げP32の高さを、第1の立ち上げP30

より大きくし、その大きさを基本（1次）モードのリングングを打ち消すように調整した。本駆動波形により、図6（B）に示すように、非常に小さいレベルにまでオーバーシュートとリングングを抑制できた。図2（B）と比較すると、同じアクチュエータを持ちいて3倍以上高速な立ち上がり速度が得られ、アクチュエータの駆動能力を格段に向上させることができた。

【0043】図7は本発明の第5の実施例となる駆動方法を示す図で、図7（A）は圧電振動子60に印加する駆動電圧波形で、図7（B）はアクチュエータとしての圧電振動子60の先端変位応答である。図7（A）の駆動電圧波形は、圧電振動子の第1の振動モードである基本（1次）モードの固有周期である $30\mu s$ より短い時間の間に、電圧の立ち上げと立ち下げからなるパルス状の波形S40、S41を2つ加えた後に電圧を立ち上げている。電圧の立ち上げと立ち下げの夫々の間隔は圧電振動子の第2の振動モードとなる3次モードの固有周期のおよそ半分の $3\mu s$ で、3次の変位モードを励振する圧力波が振動子を伝播するようにしてある。

【0044】この駆動電圧波形に対する応答を図7（B）で見ると、およそ $4\mu s$ で第1の立ち上がりQ40をした後、およそ $3\mu s$ の間静止したプラトーQ41を示し、その後およそ $3\mu s$ で第2の立ち上がりQ42をし、再びおよそ $3\mu s$ の間静止した第2のプラトーQ43を示す。本実施例と図2（B）を比較すると、本実施例では立ち上がりと静止を繰り返しながらも、従来技術に比べおよそ2倍の立ち上がり速度を示している。

【0045】図8は本発明の第6の実施例となる駆動方法を示す図で、図8（A）は圧電振動子60に印加する駆動電圧波形で、図8（B）はアクチュエータとしての圧電振動子60の先端変位応答である。図8（A）の駆動電圧波形は、図7（B）の第1の立ち上がりQ40に着目し、駆動波形の最適化を行った。即ち、静的な変位量を与える電圧より2.5倍高く第1の電圧の立ち上げP50を行い、続いて、圧電振動子の第2の振動モードとなる3次モードの固有周期のおよそ半分の値となるおよそ $3\mu s$ に電圧の立ち下げP51を行い、第1のパルス状波形S50を形成する。続いて、擬ステップ波形S51、S52を印加し静的変位量に変位させる。この擬ステップ波形は、第1のパルス波形S50と組み合わせた時、基本モードのリングングを打ち消すように抑制する波形に最適化が必要がある。本実施例では、擬ステップ波形の立ち上がり時刻を調整して、第1のパルス状波形S50で誘導される基本モードの振動と、擬ステップ波形S51、S52で誘導される基本モードの振動が、打ち消しあうよう位相を制御する。即ち、両基本モードの位相が 180° 異なる時刻に調整する。また、擬ステップ波形の立ち上がりP52に要する時間は、高次モードを強く誘導しないよう、2次モードの固有周期より少し短い $6\mu s$ とした。擬ステップ波形の立ち上がりP52から静的変位量を与え

る電圧に立ち下げるP53までの時間、即ち立ち上がり勾配一定の擬ステップ波形に重畳される第2のパルス波形S51の幅は、基本モードの振動を効率よく誘導するよう、基本モードの固有周期のおよそ半分の時間に調整した。この第2のパルスの高さを、第1のパルス状波形で誘導される基本モードの振動を相殺するよう調整することで、図8（B）に示すように、3次モード固有周期のおよそ半分の時間である $5\mu s$ で立ち上がるステップ状に変位する駆動を実現できる。

10 【0046】図9は本発明の第7の実施例となる駆動方法を示す図で、図9（A）は圧電振動子60に印加する駆動電圧波形で、図9（B）はアクチュエータとしての圧電振動子60の先端変位応答である。図9（A）の駆動電圧波形は、図8（A）の駆動電圧波形同様のアプローチにより最適化されている。図8（A）とは異なり、第1のパルス状波形S60と擬ステップ波形S61、S62とにおいて、駆動回路を簡略化できるよう電圧の立ち上がり勾配P60、P62、P63、電圧の立ち下がり勾配P61、P64をそれぞれ一定な値としている。

20 【0047】図8（B）と図9（B）の応答は、共にリングングは抑制できているが、オーバーシュートQ52、Q62がやや大きくなっている。擬ステップ波形に、第3、第4とパルス状波形を重ねていくことで、このオーバーシュートを抑制ことは可能である。しかし、波形が複雑になると、駆動回路が複雑になり、僅かなパラメータ変動で期待した効果や作用が機能しないことも予想される。図8あるいは図9に示した実施例は、初期の立ち上がりQ50、Q60の速度が図2の従来技術と比較して6倍程度向上している。従って、アクチュエータの高速位置決め機能よりアクチュエータの速度が重要で、基本モード程度の周波数成分を持つオーバーシュートが問題とならない応用分野で非常有効な駆動方法である。

30 【0048】以上の実施例では、圧電素子からなる縦振動子を例にとり駆動方法の説明を行ったが、他の振動モードであっても同じ動作原理により同様な作用効果が得られることは明らかである。例えば、ねじり振動子では、その運動方程式は縦振動子と相似であり、縦振動子の場合の縦弾性係数をねじり振動子の場合には横弾性係数で置き換えることで、ねじり振動に関する一連の公式が得られる。よこ振動子の場合も、1次モード、2次モード、3次モードの振動を用いて、高次モードにより急峻な立ち上がりを実現しながら1次モードの振動を抑制する本発明の着想が適用できる。しかしながら、横振動子では、1次モード、2次モード、3次モードの固有振動数が縦振動子やねじり振動子のように直線的に並ばず、1次モードと高次モードとの固有振動数の差が大きいため、駆動波形の最適化は他の振動子に比べ難しい。

40 【0049】ここで、これまで説明した圧電縦振動子は圧電横効果を用いているため、分極時の電圧と同じ方向に電圧を印加する場合、圧電縦振動子は負の歪み（負の

変位)を発生する。逆に、圧電縦効果を用いた圧電縦振動子の場合、分極時の電圧と同じ方向に電圧を印加する場合、圧電縦振動子は正の歪み(正の変位)を発生する。従って、本明細書においては、駆動力あるいは電圧等の駆動信号の立ち上げとは、アクチュエータが目的とする変位に駆動される方向への駆動力あるいは電圧等の駆動信号の変化を意味する場合も有り、その場合は立ち上がり/立ち下がりが正/負の符号には依らない用語の使い方をしている。

【0050】また、本発明は圧電振動子(電歪振動子)だけでなく、磁歪振動子についても同様に適用できるのは明らかである。圧電振動子が駆動電圧による電界が駆動力を発生するのに対し、磁歪振動子では磁界の強さが駆動力を発生する。しかし、磁界の発生手段がコイルであれば、その駆動電流を駆動力として解釈してもよい。

【0051】次に、図面を参照して本発明のインクジェット記録装置について詳しく説明する。

【0052】図10は、アクチュエータとして縦振動モードの圧電振動子を用いたインクジェット記録装置を示すものであって、各部品を分解し内部構造が見えるように示してある。図11は、図10に示した実施例の部分断面図である。

【0053】図10において、流路形成部材3には、周囲を側壁で区画された細長い直線状のキャビティ51、51、51……が列状に等間隔で2列に形成されており、それぞれのキャビティの一端は、後述するインク溜りを形成する窓41に連通している。この流路形成部材3をノズル基板1と振動板7とで挟みこみ、封止することで、前述の細長い直線状のキャビティ51はインク室5を形成し、窓41はインク溜り4を形成する。また、ノズルプレート1にはインク室5に対応してノズル2、2、2……が穿孔されており、インク室5の一端でノズル2が接続している。

【0054】インク滴吐出の駆動源となるアクチュエータ22は、棒状の積層圧電素子を素子固定基板21から梁状に突き出すように、その一方の端部を素子固定基板21に固着した縦振動子で、この積層圧電素子を素子固定基板21に複数実装してアクチュエータユニットとして構成されている。図11に示すように積層圧電素子は、梁状部分で互い違いに交差する電極層26、27と圧電材料(本実施例ではチタン酸ジルコン酸鉛を用いた)を積層した活性部を有し、一方の電極層27は各アクチュエータ毎に個別の電極として、他方の電極層26はアクチュエータに共通の電極として、図示していない外部の駆動回路ヘリッドフレーム25を経て接続している。アクチュエータ22の配置は、一つのアクチュエータ22が一つのインク室5に対応するように、インク室5の間隔と同じに並べられる。図10に示す実施例では、2列のインク室5に対応してアクチュエータユニットが2つ実装されている。

【0055】インク流路構成部材とアクチュエータユニットは、基台11によって相互に固定されている。基台11には、インク供給管31が圧入接着されている。インクは図示していない外部のインクタンクよりインク供給管31と振動板7にあるインク連絡口33を経て、インク溜り4、更にインク室5へと供給される。各インク室5の底壁を構成する振動板7の部分は弾性壁8として変形可能であり、インク室5と反対面に各インク室毎に形成されている島状の脚部9を持つダイアフラムとなっている。梁状のアクチュエータ22の先端は、個々のインク室の脚部9に接合している。

【0056】図示していない外部の駆動回路より、積層圧電素子の個別電極27と共通電極26間に電圧が印加されると、積層圧電素子の活性部は素子固定基板21を支点に長手方向に縮み、インク室5の弾性壁8を下方にたわませ、インク室5の容積を拡大させる。インク室5の容積の拡大によって、インクがインク溜り4より供給流路6を経てインク室5に供給される。引き続く時間で個別電極27と共通電極26間の電圧印加が解除されると、積層圧電素子の活性部は元の長さに伸びインク室5の容積を縮小させ、このとき発生する圧力によってインク室5を満たすインクの一部をインク室5に連通するノズル2よりインク滴として吐出させる。

【0057】次に図12を用いて、アクチュエータユニットを更に詳細に説明する。

【0058】図12は、図10に示した実施例のアクチュエータユニットを拡大した図である。素子固定基板21は厚さ1mmのアルミナ基板を加工して作られている。梁状の突出部42はアクチュエータユニットと基台11を位置決めするために設けられている。列状に配置された積層圧電素子(アクチュエータ22)は、図11に示すように、その積層電極の一方は積層圧電素子の梁状先端で外部の電極に接続し、更に側面の電極28に接続している。また、積層電極の他方は積層圧電素子の素子固定基板21に固定されている方の先端で外部の電極に接続し、電極28と対向する側面に形成された電極29に接続している。積層圧電素子の素子固定基板21との接合面に設けられた電極29は個々に積層圧電素子に設けられた個別電極の電気接点として、積層圧電素子と素子固定基板21との接合と同時に、素子固定基板21にアクチュエータ22の個々に対応して設けられた導電性パターン24へ電気的に接続される。積層圧電素子の他方の面に設けられた電極28は共通電極の電気接点として、導電性部材23で連結され、圧電振動子列の両端に設けられたダミーの圧電素子32を経て、素子固定基板21の導電性パターン34に接続している。リードフレーム25の両側の端子は共通電極の端子として、内側の端子はダミーの圧電素子を除く個々の積層圧電素子の個別電極の端子として、外部の駆動回路に連結される。

【0059】本実施例では、インク室5は282 μ mの

間隔で、即ち1インチ当り90ノズルの密度で列状に並べられており、図10に示すように2列のインク室によって1インチ当り180ノズルの密度を有するインクジェット記録装置が構成されている。従って、アクチュエータユニットのアクチュエータ22のピッチも282 μ mとなっている。

【0060】アクチュエータの製造方法は、素子固定基板21から張り出すようにして板状の積層圧電素子を素子固定基板21に接着した後に、積層圧電素子をワイヤソウ等を用いて282 μ mのピッチの短冊状に切断し、個々のアクチュエータ22が形成される。切断の方法は、他にダイシングソウを用いても良い。積層圧電素子は、積層方向の厚さがおよそ0.5mmで、素子固定基板21から張り出している部分の長さがおよそ8mmである。282 μ mのピッチで並べるために、並び方向の幅は150 μ mで、切りしろが130 μ m程度になる。

【0061】次に、インク室5の底壁を構成する振動板7の構造を図13を用いて詳細に説明する。

【0062】図13は、各インク室5の弾性壁8を構成する振動板7を、アクチュエータ22側から見た部分斜視図である。アクチュエータ22は、圧電素子への電圧印加により、振動板7に垂直に伸縮する。振動板7には、各々のインク室5の弾性壁となる部分のインク室5の外側に、細長く直線状のインク室に沿うように、細長い島状の厚肉部である脚部9がそれぞれのインク室毎に形成されている。逆に、島状の脚部9の周囲は薄板部10となっており、脚部9の両端部には広い薄板部10a、10bが形成されている。各パターンは、インク室5の配置に対応するように282 μ mの間隔で等間隔に列状に配置されている。

【0063】アクチュエータ22の伸縮に伴うインク室5のおよその体積変形量は、弾性壁8の壁面に垂直方向の移動により排除される容積で与えられる。このように高密度で配置されたインク室5を変形させ、画素形成に必要なインク量をノズル2よりインク滴として吐出させるために、本発明のインクジェット記録装置では、インク室5を細長く形成し、その一面を構成しアクチュエータ22の伸縮に応じて変形する弾性壁8の面積を広く確保している。本実施例では、インク室5の幅は200 μ mで、長さはおよそ1mmである。振動板7は、これを構成する材料により適切な厚肉部や薄肉部の厚さが変わるが、ニッケルを用いた場合には、厚肉部はその厚みを25 μ m程度に、また薄肉部はその厚みを1 μ m乃至3 μ m程度である。

【0064】ノズルより微小なインク滴を高速に吐出させるには、インク滴の吐出に係わるインク室の振動モードの固有振動数（ヘルムホルツ周波数）を高くすることが必要である。

【0065】インクジェットヘッドのインク流路に発生

するインク流れでは、細い流路でインクを加速する時にインクの質量がイナータンスとして働く。また、インク室はインク圧力で弾性変形する、あるいはインク室を満たすインクがインク圧力で圧縮・膨張するため、これらの体積変位がコンプライアンスとして働く。従って、イナータンスとコンプライアンスの組み合わせによって、インク室の応答は固有な振動モードを持ち、その周波数は下記の式によって得られるヘルムホルツ周波数となる。

【0066】

【数3】

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{M_n + M_s}{C_c(M_n M_s)}}$$

【0067】ここで、 C_c はインク室のコンプライアンス、 M_n はノズル内のインクのイナータンス、 M_s は供給流路のインクのイナータンスである。

【0068】 C_c はインクの圧縮性による成分とインク室の周壁の可撓性による成分の和で、インクの圧縮性による成分 C_{ink} は次式で求められる。

【0069】

【数4】

$$C_{ink} = \kappa V_c$$

【0070】ここで、 κ はインクの体積圧縮率で、水系のインクではおよそ0.45 (GPa)⁻¹である。 V_c はインク室の容積である。インク室の周壁の可撓性による成分は複雑なインク室構造では簡単な式では表現できず、一般に有限要素法等を用いた数値解析手段を持ちて求められる。

【0071】また、 M_c 、 M_s は流路の断面積をS、インク密度を ρ 、流路の長さをLとして、次式で表わせる。

【0072】

【数5】

$$M = k \frac{\rho L}{S}$$

【0073】ここで、kは流路の断面形状で決まる形状係数で、円管ではおよそ1.3である。

【0074】流路が複雑な形状の場合には、コンプライアンスと同様に有限要素法等を用いた数値解析手法を用いて求められる。

【0075】さて、上記方法を用いて本実施例のヘルムホルツ周波数を計算すると以下ようになる。

【0076】即ち、ノズルのイナータンス M_n は、ノズル径40 μ m、直管部の長さ20 μ m、直管部に接続するテーパ部を加えると、 $M_n = 7.0 \times 10^6 \text{ kg/m}^4$ である。供給流路のイナータンス M_s は、60 μ m \times 60 μ mの矩形断面で長さが150 μ mであるから、 $M_s = 6.0 \times 10^6 \text{ kg/m}^4$ である。コンプライアンスはインク室5の弾性壁8の薄板部の寄与が大部分であり、およそ $C_c = 1 \times 10^{-19} \text{ m}^3/\text{Pa}$ である。これらの値を用

いて計算されるヘルムホルツ周波数は90kHzとなり、その固有周期は11μsである。

【0077】アクチュエータ22を駆動し、インク室5に強い圧力振動を発生させるには、上記ヘルムホルツ周波数で決まるインクの吐出に係わるインク室の振動モードの固有周期より速く、アクチュエータ22を立ちあげる必要がある。アクチュエータ22の縦振動モードの基本周期はおよそ16μsで、このアクチュエータに図14に示す駆動電圧波形を印加することで、縦振動モードの基本周期よりおよそ3倍速い5μs程度で、アクチュエータを立ちあげることが出来る。

【0078】図14に示す駆動波形は、図3に示したアクチュエータの駆動方法と同じで、図3では圧電横効果を用いた縦振動子を収縮させているのに対し、インクジェット記録装置では圧電横効果を用いた縦振動子を伸長させるのに適用するため、駆動電圧の降下上昇の符号が図3と図14で反対となっている。

【0079】図14に示す駆動波形は、アクチュエータ22の基本周期とインク室5の固有周期よりも緩やかに上昇する電圧の立ち上がりP70の後、アクチュエータ22の基本周期より短い時間の間に、電圧の立ち下げP71と立ち上げP72からなるパルス状の波形を加えた後に、再び電圧を立ち下げている。電圧の立ち上げP70によりアクチュエータ22は長手方向に縮み、インク室5の弾性壁8を下方にたわませ、インク室5の容積を拡大させる。インク室5の容積の拡大によって、インクがインク溜り4より供給流路6を経てインク室5に供給される。次に、電圧の立ち下げP71と立ち上げP72と立ち下げP73によりアクチュエータは第2の振動モードとなる2次モードの固有周期程度の値である5μsで長手方向に伸長し、インク室5の容積をインク室5の固有周期より短い時間に急激に縮小させる。このとき発生する圧力によってインク室5を満たすインクにはヘルムホルツ周波数の大きな圧力振動が励起し、インク室5に連通するノズル2よりインク滴が高速に吐出する。

【0080】図3の実施例同様、図14の駆動波形では電圧の立ち下げP71から電圧の立ち上げP72までの時間と、電圧の立ち上げP72から2度目の電圧の立ち下げP73までの時間はおよそ3μsで、アクチュエータ22の第2の振動モードとなる2次モードの固有周期のおよそ半分の値である。

【0081】図15は、本インクジェット記録装置の第2の実施例で、図5に示したアクチュエータの駆動方法とは駆動電圧の降下上昇の符号が反対となっている。

【0082】図15に示す駆動波形は、アクチュエータ22の基本周期とインク室5の固有周期よりも緩やかに上昇する電圧の立ち上がりP80の後、アクチュエータ22の基本周期より短い時間の間に、電圧の立ち下げP81と立ち上げP82からなるパルス状の波形を加えた後に、再び電圧を立ち下げP83を行い、更に小さな電圧の立ち

上げP84を行い、最後に緩やかに電圧を立ち下げP85を行い電圧0に復帰させている。電圧の立ち上げP80によりアクチュエータ22は長手方向に縮み、インク室5の弾性壁8を下方にたわませ、インク室5の容積を拡大させる。インク室5の容積の拡大によって、インクがインク溜り4より供給流路6を経てインク室5に供給される。次に、電圧の立ち下げP81と立ち上げP82と立ち下げP83と立ち上げP84によりアクチュエータは第2の振動モードとなる2次モードの固有周期程度の値であるおよそ5μsで長手方向に伸長し、この時、図5に示した様にアクチュエータ22の伸長後のリングングを低く抑えられ、不要なインク室5の振動が抑制されている。

【0083】図5の実施例同様、図15の駆動波形では電圧の立ち下げP81から電圧の立ち上げP82までの時間と、電圧の立ち上げP82から2度目の電圧の立ち下げP83までの時間と、2度目の電圧の立ち下げP83から小さな電圧の立ち上げP84までの時間は、それぞれおよそ3μsで、アクチュエータ22の第2の振動モードとなる2次モードの固有周期のおよそ半分の値で、2次モードの振動を強く励振する。また、電圧の立ち上げP84の高さは、基本モードのリングングを最適に抑制する値に調整する。

【0084】図16は、本インクジェット記録装置の第3の実施例で、図6に示したアクチュエータの駆動方法とは駆動電圧の降下上昇の符号が反対となっている。

【0085】図16に示す駆動波形は、アクチュエータ22の基本周期とインク室5の固有周期よりも緩やかに上昇する電圧の立ち上がりP90の後、アクチュエータ22の基本周期より短い時間の間に、電圧の立ち下げP91と立ち上げP92からなるパルス状の波形を加えた後に、再び電圧を立ち下げP93と小さな電圧の立ち上げP94を行い、最後に緩やかに電圧を立ち下げP95を行い電圧0に復帰させている。電圧の立ち下げP93は電圧の立ち下げP91より大きく、電圧の立ち上げP94後の電位は、電圧の立ち下げP91後の電位より高く設定されている。

【0086】図6に示した様に、本駆動電圧波形によりアクチュエータ22の伸長後のリングングは先の実施例以上に低く抑えられ、不要なインク室5の振動が抑制されている。

【0087】図14、図15、図16に示した実施例では、アクチュエータ22の伸長後に僅かにリングングが発生する。このリングングの成分はアクチュエータの1次モードの成分が大部分であり、その基本周期はおよそ16μsである。しかしながら、本実施例のインクジェット記録装置では、そのヘルムホルツ周波数より決まるインク室5の固有周期はおよそ11μsで、アクチュエータの基本周期より短く設定されている。従って、インク室5の固有周期より長い周期のリングングでインク室5が励振されるが、この励振に対するインク室5の応答は小さく、ミスト状の不要インク滴を吐出させることは

なく、吐出信頼性に優れたインクジェット記録装置を実現できている。

【0088】また、従来5 μ sでアクチュエータを駆動するには、アクチュエータの長さを3mm程度に短くしなければならず、必要なインク滴重量を得るためには30V程度の電圧が必要であった。しかし、上記実施例によれば、駆動電圧は高々10V程度であり、3分の1程度の低電圧化が達成できた。

【0089】これまでの実施例では、アクチュエータとして圧電横効果を用いているため、駆動電圧の上昇させインク室5の容積を拡大させた後の駆動電圧の降下時で、第1の振動モードとなる基本モードの固有周期より短い区間の間に、電圧の立ち下げと立ち上げからなるパルス状波形を挿入し、その後電圧を立ち下げている。

【0090】これに対し、圧電縦効果を用いたアクチュエータや、磁歪効果を用いたアクチュエータでは、電圧の上昇に伴いインク室5の容積を収縮させる方向に変位する。従って、駆動電圧波形として図17に示すように、電圧の上昇時に第1の振動モードとなる基本モードの固有周期より短い区間の間に、電圧の立ち上げP100と立ち下げP101からなるパルス状波形を挿入し、その後電圧の立ち上げP102と立ち下げP103からなる補助パルスを重畳させた擬ステップ波形を用いることで、先の実施例と同様な効果が得られる。

【0091】

【発明の効果】以上述べたように、本発明のアクチュエータの駆動方法によれば、アクチュエータのオーバシュートとリングングを低く抑えながらアクチュエータの基本モードの固有周期より短い時間でアクチュエータを立ち上げることが可能となり、高速で変位するアクチュエータを実現出来るという効果を有する。

【0092】また、高速な応答を得る為に、必要以上にアクチュエータを小型にする必要が無く、低い駆動力・駆動電圧で必要な変位量を得ながら、高速に変位するアクチュエータを実現出来るという効果を有する。

【0093】また、以上述べたように、本発明のインクジェット記録装置によれば、アクチュエータを必要以上に小型化せずに、高い応答速度を持つインクジェット記録装置のインク室を駆動することが可能となり、従来に比較して数分の1の駆動電圧で、高速にインク滴を吐出するインクジェット記録装置を実現できるという効果を有する。

【0094】また、アクチュエータの残留振動による不要インク滴の吐出や、インク吐出の不安定性が発生せず、低駆動電圧と高信頼性を両立したインクジェット記録装置を実現できるという効果を有する。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明を適用したアクチュエータの斜視図である。

【図2】従来の駆動方法による駆動電圧波形とアクチュ

エータ変位を示した図である。

【図3】図1のアクチュエータに適用した本発明の駆動波形の実施例を示した図である。

【図4】図1のアクチュエータに適用した本発明の駆動波形の実施例を示した図である。

【図5】図1のアクチュエータに適用した本発明の駆動波形の実施例を示した図である。

【図6】図1のアクチュエータに適用した本発明の駆動波形の実施例を示した図である。

10 【図7】図1のアクチュエータに適用した本発明の駆動波形の実施例を示した図である。

【図8】図1のアクチュエータに適用した本発明の駆動波形の実施例を示した図である。

【図9】図1のアクチュエータに適用した本発明の駆動波形の実施例を示した図である。

【図10】本発明の実施例のインクジェット記録装置の構造を説明する斜視図である。

【図11】図10のインクジェット記録装置の断面図である。

20 【図12】図10のインクジェット記録装置のアクチュエータ構造を説明する斜視図である。

【図13】図10のインクジェット記録装置の振動板の構造を説明する斜視図である。

【図14】図10のインクジェット記録装置を駆動する駆動電圧波形の一実施例を示した図である。

【図15】図10のインクジェット記録装置を駆動する駆動電圧波形の一実施例を示した図である。

【図16】図10のインクジェット記録装置を駆動する駆動電圧波形の一実施例を示した図である。

30 【図17】インクジェット記録装置を駆動する駆動電圧波形の一実施例を示した図である。

【図18】縦振動子の振動モードを説明する図である。

【図19】従来のアクチュエータの駆動方法と、その応答を示した図である。

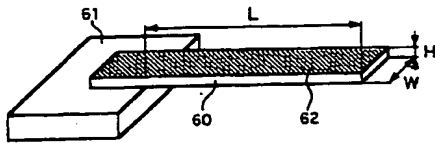
【図20】従来のアクチュエータの駆動方法と、その応答を示した図である。

【符号の説明】

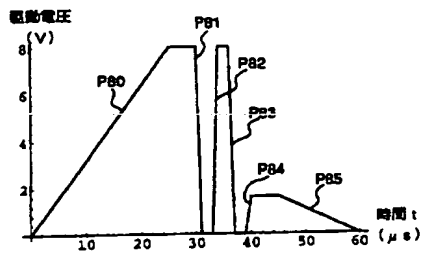
- | | |
|----|---------|
| 1 | ノズル基板 |
| 2 | ノズル |
| 3 | 流路形成部材 |
| 4 | インク溜り |
| 5 | インク室 |
| 6 | 供給流路 |
| 7 | 振動板 |
| 8 | 弾性壁 |
| 9 | 脚部 |
| 10 | 可撓部 |
| 11 | ヘッドフレーム |
| 21 | 素子固定基板 |
| 22 | アクチュエータ |

60 圧電振動子

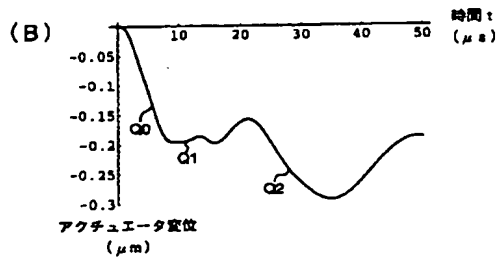
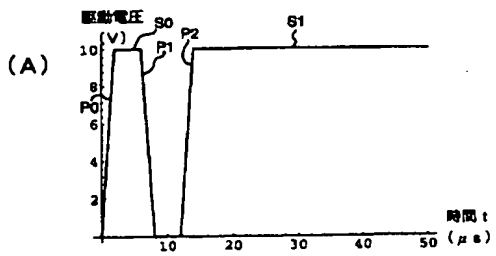
【図1】



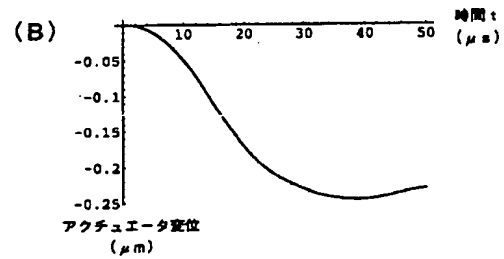
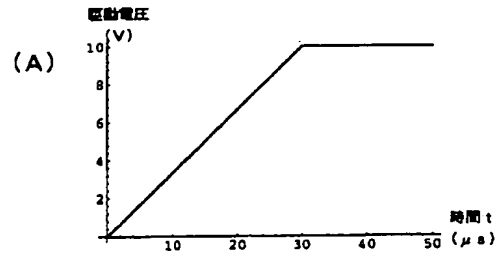
【図15】



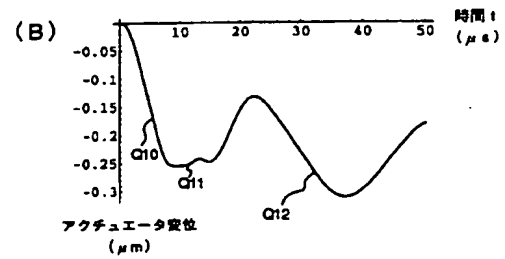
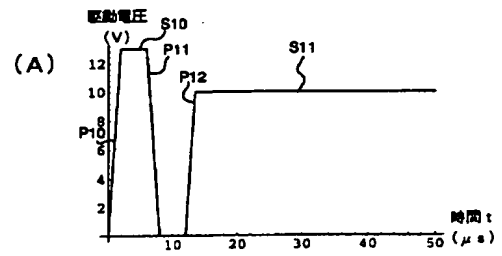
【図3】



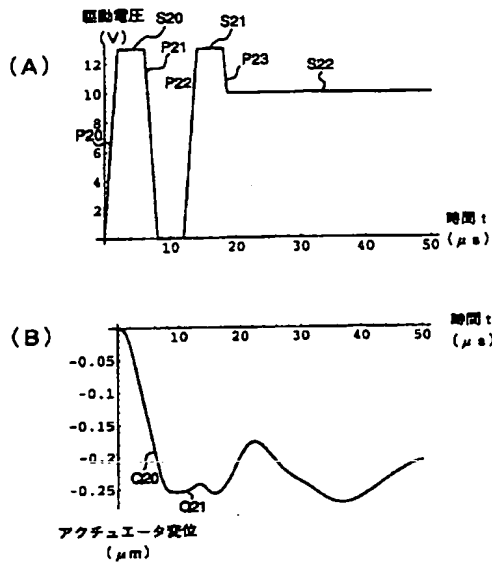
【図2】



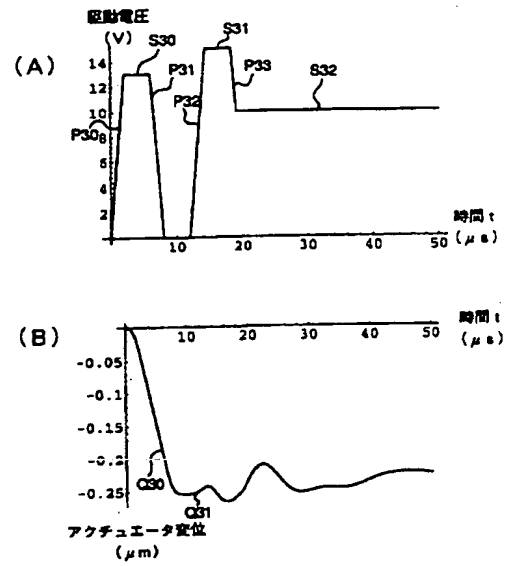
【図4】



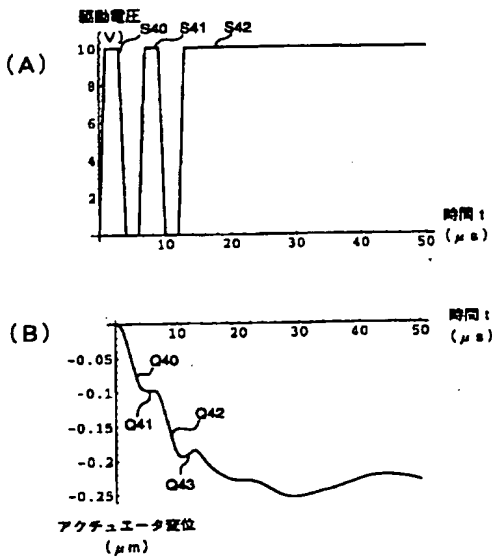
【図5】



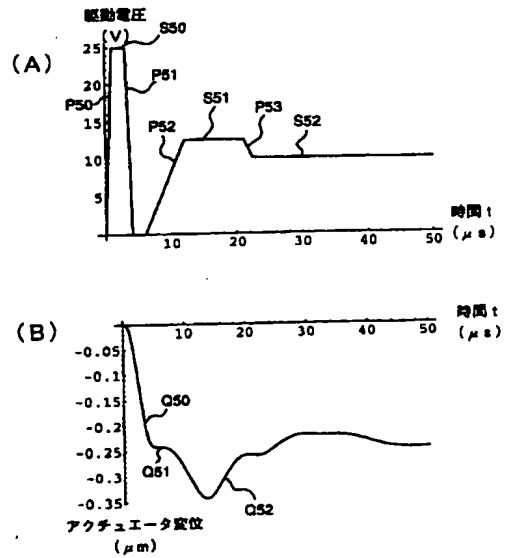
【図6】



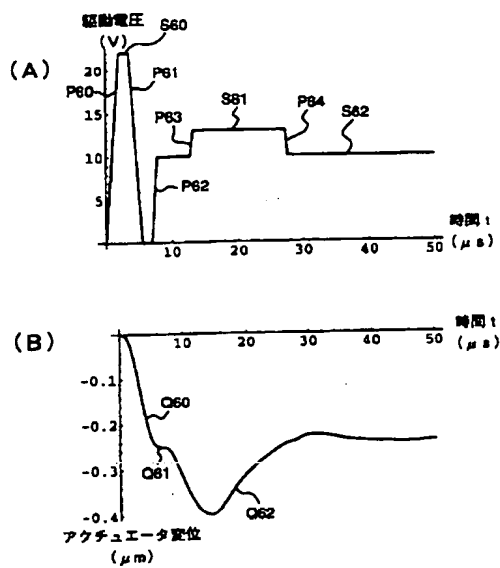
【図7】



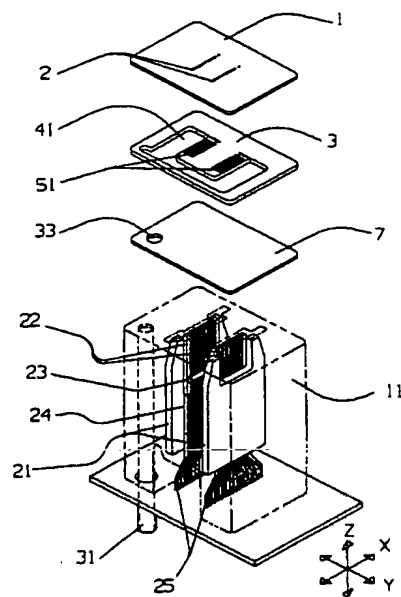
【図8】



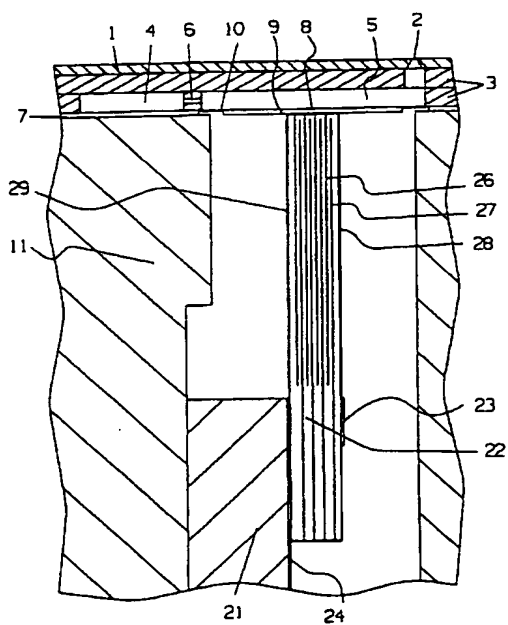
【図9】



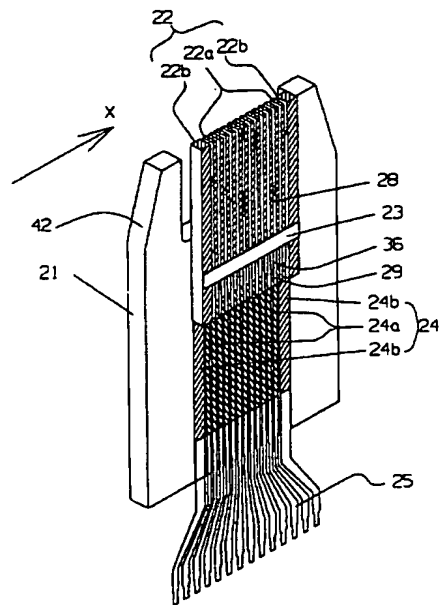
【図10】



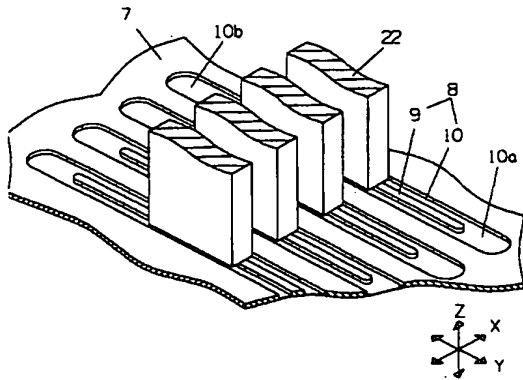
【図11】



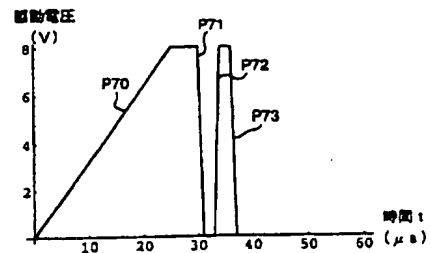
【図12】



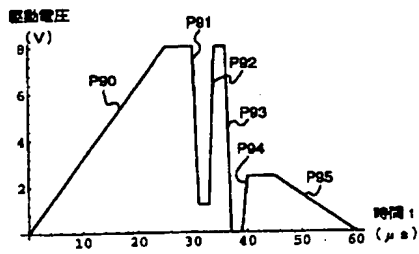
【図13】



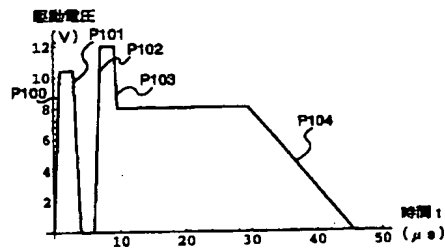
【図14】



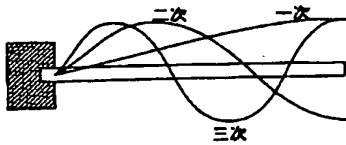
【図16】



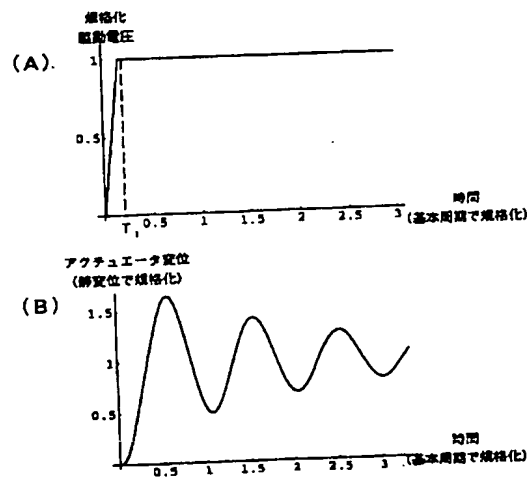
【図17】



【図18】



【図19】



【図20】

